

양성자 가속기기술을 이용한 IC Tray 표면 전기전도도 향상

Enhancement of IC Tray's Surface Conductivity using Accelerator Technology

이재상, 길재근, 이찬영, 박재원, 이재형, 최병호
한국원자력연구소 핵물리공학팀
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

KOMAC(KOrea Multi-purpose Accelerator Complex)과제의 대전류입사기기술을 이용하여 IC Tray의 표면전기전도도향상을 위한 이온조사공정을 개발하였다. 정전기발생방지 IC Tray를 생산하기 위하여 가속관과 원소분리자석이 없는 간단하고 저가인 이온빔 조사장치를 개발하였다. IC Tray 양산을 위한 장치는 이온원, 빔수송장치, 조사 chamber, 배기시스템과 IC Tray 자동이송장치로 구성된다. 양산효율을 향상시키기 위해 이온원의 빔에너지는 50keV, 빔전류는 50mA로 설계 제작하였다. 빔에너지 50keV, 이온조사량 $7 \times 10^{14} \sim 8 \times 10^{16}$ ions/cm²로 절연재료인 IC Tray 표면저항을 $10^{12} \sim 10^6$ Ω/□로 낮추었다.

Abstract

For industrial applications, we have developed an ion beam process for a surface modification of an IC Tray using the 50keV high current injector technology of KOMAC(KOrea Multi-purpose Accelerator Complex). To produce an IC Tray with antistatic surfaces, we designed a simple and low price ion beam irradiator without an acceleration column and analyzing magnet. The essential beam subsystems of this machine are the ion source, beam transport column, irradiation chamber, differential pumping system and automatic IC Tray transportation system. This apparatus is at present operating at the current of 50mA and extraction voltage 50kV. The surface resistivity of a MPPO IC tray that is normally insulating was decreased in the range of 10^{12} to 10^6 Ω/sq by increasing the total dose from 7×10^{14} ions/cm² to 8×10^{16} ions/cm².

1. 서 론

고분자는 낮은 밀도, 좋은 성형성, 전기적 특성, 저가 등의 기본적인 성질에 의해 산업계의 응용이 점차 증가하고 있는 추세이다. 이러한 특성을 응용한 산업분야는 정전기 방지, 전자파 차폐, 배터리 전극 등에 널리 사용되고 있다. [1,2]

최근 고분자에 대한 유용성이 날로 증가함에 따라 고분자의 이온주입에 관한 연구가 국내·외 여러 곳에서 이루어지고 있으며, 이에 따른 많은 연구 보고서들이 발표되고 있다.[3-5] 그러나 이러한 방대한 연구결과에 비해 산업적인 적용은 미미한 실정이다. 이온을 주입한 고분자의 특성으로는 선형으로 구성된 분자사슬이 주입된 이온들과의 충돌로 에너지를 전이 받음으로서 고분자 표면의 물성이 변화하여 경도가 증가함과 동시에 전기 전도도가 증가하게 된다.[6,7]

주입 이온의 에너지와 주입량과 종류에 따라 고분자 표면의 전기 전도도와 경도의 변화가 일어나는데, 고분자의 종류에 따라 다소 차이가 있지만 일반적으로 이온 주입한 고분자의 경우 전기 전도도는 10^{10} 배, 경도는 20~30배 향상됨을 여러 문헌을 통해 알 수 있다.[8,9]

본 연구에서는 입사기기술을 응용하여 이온조사장치와 준양산 이온조사장치를 설계제작하였으며, IC Tray의 표면처리 양산공정 확립을 위해 이온조사조건에 따른 IC Tray의 표면개질 특성변화에 대하여 연구하였다.

2. 이온조사장치

IC Tray의 표면특성향상 실험을 위한 저가의 이온조사장치를 그림. 1에 나타내었다. 경제성을 고려한 본 이온조사장치는 가속관과 원소분리전자석을 제외하고 설계하였다. 본 장치는 크게 이온원, 배기시스템, 빔진단장치, 전원, 빔수송관, 이온조사 chamber, 타겟시스템으로 구성되어 있다. 이러한 이온조사장치의 제원은 다음과 같다.

Ion Source(injector of KOMAC):

- Thermal cathode : W Filament
- Source Magnet : 10 k Gauss
- Intermediate Electrode : Mild Steel
Cone Angle of 30 degree
- Distance between Intermediate Electrode and Anode : 2mm
- Anode : Mo, 0.8mm dia, 2.38mm depth

Vacuum System:

- Dimension : SUS-304, 800mm × 800mm × 800mm
- Pump : Oil Diffusion, 2000 l/s × 2

- Ultimate Pressure : 4×10^{-7} Torr

Ion Diagnostics:

- Scanning Faraday Cup : 5mm dia., 250 Gauss

Power Supplies:

- Filament P.S. : DC 10V, 50A
- Magnet P.S. : DC 10V, 20A
- Arc P.S. : DC 250V, 15A
- Extraction P.S. : 50kV, 50mA

본 이온조사장치는 여러 가지 이온원을 개발하고 작은 부품의 표면처리 공정개발을 위해 설계제작되었으며, 특히 IC Tray의 표면처리공정개발을 위해 제작되었다.

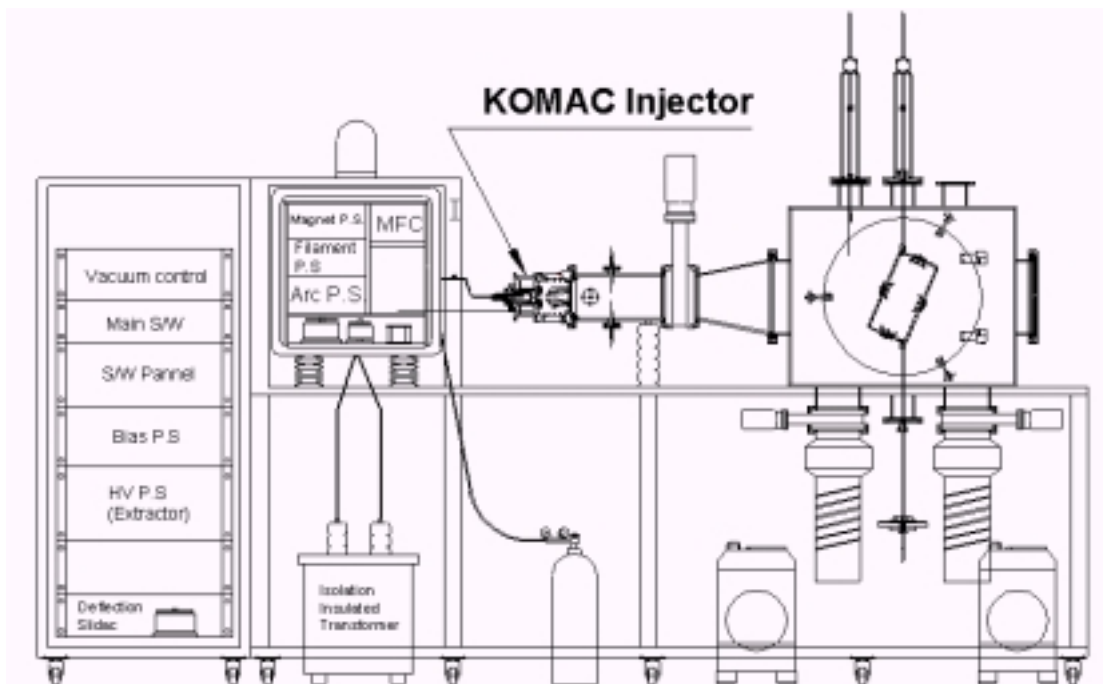


그림 1. IC Tray 표면처리실험을 위해 제작된 이온조사장치

3. 이온빔 조사공정

본 연구에 사용된 MPPO(modified-polyphenylene oxide)는 비중이 낮고, 성형 수축률이 적으며 사출성형시 수치안정성이 있고, 내열성이 우수한 특징을 가지고 있어 반도체 운반용기인 Tray의 재질로 사용되고 있다.

IC Tray 표면에 이온에너지 50keV로 이온조사량 $7 \times 10^{14} \sim 8 \times 10^{16}$ ions/cm²의 조건으로 질소, 아르곤, 제논이온을 조사하였으며 공정변수에 따른 표면저항의 변화를 측정하여 IC Tray 표면처리 양산공정의 기초 자료로 활용하고자 한다.

이동시스템에 의한 Faraday cup에 의한 빔 profile은 그림. 2에 나타내었다. 본 연구에서 사용된 faraday-cup은 조사된 이온빔에 의한 이차전자를 도우넛모양의 영구자석으로 구속하여 그 오차범위를 제한하였다. 측정된 빔 profile은 IC Tray 표면의 이온조사량을 계산하는데 사용되어진다. 또한 IC Tray표면의 기계적, 물리적 성질을 변화시키는 임계온도를 측정하여 냉각시스템이 필요없는 타겟시스템 설계에 기초자료로 사용된다.

이온조사량을 변수로한 표면전기전도도도 향상을 측정하기 위해 빔전류는 고정하고 이온조사시간을 변화시켜 이온조사량을 조절하였다.

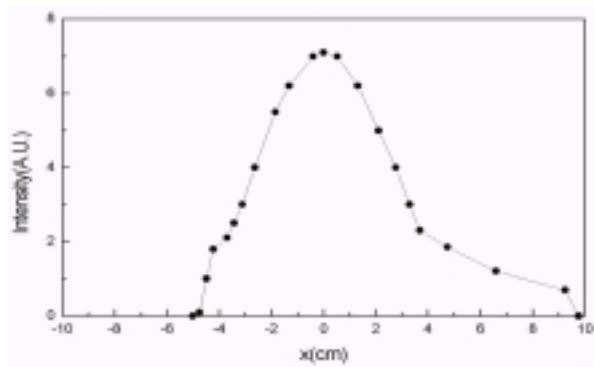


그림. 2. Faraday Cup을 이용한 질소이온빔 분포

4. 표면전기전도도 및 표면 미세구조 변화

이온 주입한 고분자는 주입된 표면 층의 전기 전도도가 증가하며, 경도증가와 내마모 특성이 향상된다. 이러한 현상을 나타내는 원인으로서는 고에너지로 주입된 이온이 고분자 내에서 에너지를 잃고 각 원자들을 여기 시키거나 분자들의 결합을 분리시키면서 발생하는 현상 때문이다. 구체적으로는 이온주입에 의해 고분자 내부에 발생하는 결합으로는 입사된 이온이 표적에서 에너지를 잃고 일어나는 에너지 전이로 여기 되거나 불포화 결합을 형성하는 unsaturated bond와 분자사슬들이 주입된 이온과의 충돌로 영향을 받아 끊어지는 chain scission 그리고 선형으로 배열되어있던 분자사슬들이 이온과의 충돌로 에너지가 전이되어 끊어지면서 다시 서로 교차 결합하여 3차원적 망상조직을 갖는 cross-linking에 의해서 전기 전도도가 증가하는 것이다.[10-13]

50keV의 에너지로 질소이온을 IC Tray표면에 조사시킨 경우 이온조사량이 7×10^{14} ions/cm²에서 8×10^{16} ions/cm²로 증가할수록 절연체인 IC Tray의 표면저항은 $10^{12} \sim 10^6$ Ω/sq의 값으로 감소하였다.(그림. 3) 이는 앞에서 언급한 것처럼 고분자의 표면에 이온을 주입량이 증가함으로써 unsaturated bond들에 의해 비국지화된 π-전자의 증가와 cross-linking에 의한 charge 운동량이 점점 증가하기 때문이며, 또한 전자의 운동성을

증가시키는 역할을 하는 cross-linking과 unsaturated bond를 유도하는 ionization linear energy transfer가 시편원자의 이온화에 더 크게 기여하여 cross-linking과 unsaturated bond들이 더 많이 형성되기 때문에 전기 전도도가 증가하는 것이다.[14]

그림. 4는 조사이온의 질량 변화에 대한 표면전기전도도의 변화를 나타낸 그래프이다. 같은 조건에서 이온 질량이 증가할수록 표면전기전도도가 감소하였다. 이러한 질량 효과는 분자결합을 파괴하고 재결합시키는 현상에 의해 IC Tray 표면이 탄소화 하는 것으로 알려져 있다. [6,7]

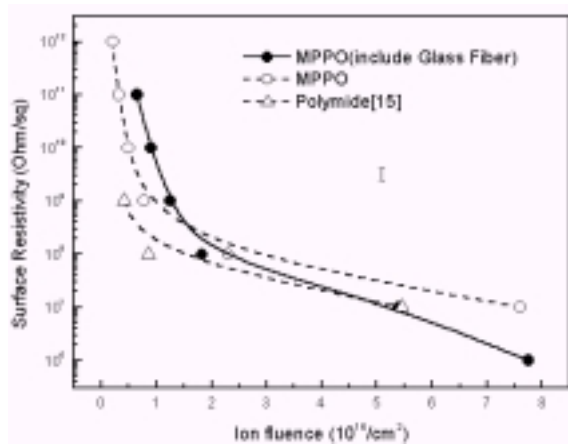


그림. 3. 이온조사량에 따른 IC Tray표면의 전기저항의 변화

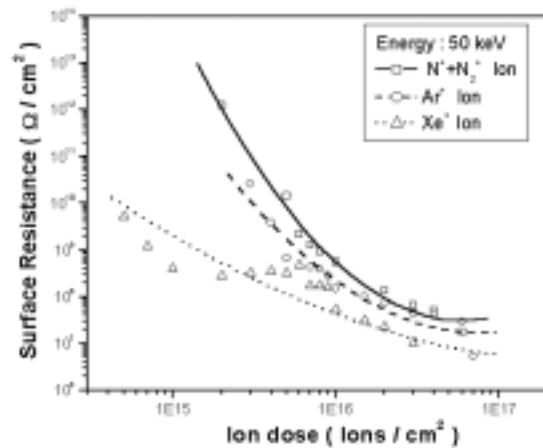


그림. 4. 조사이온 질량에 따른 IC Tray 표면의 전기저항의 변화

5. 준양산장치

준양산장치의 개략도를 그림. 5에 나타내었다. 이온원으로부터 인출된 대전류(50mA) 이온빔은 가속관 없이 50keV의 에너지로 IC Tray에 조사된다. 이러한 준양산장치는 이온원, 빔수송관, 빔조사 chamber, 분리형 배기시스템, 전자동 IC Tray 이송장치로 크게 나뉘며 자세한 사양은 다음과 같다.

Ion Source:

- Extraction Voltage : 50kV
- Beam Current : 50mA
- Thermal cathode : W Filaments
- Source Magnet : 250 Gauss
- Intermediate Electrode : Mild Steel, Cone Angle of 30 degree
- Distance between Intermediate Electrode and Anode : 4mm
- Anode : OFHC, 8mm dia, 23mm depth

Vacuum System:

- Ion Source Chamber :
Pump : TMP(600 l/s)+RP,
Ultimate Pressure : 1×10^{-6} Torr

- Loading & Unloading Chamber :
Pump : Booster Pump(1,100 l/m)+RP,
Ultimate Pressure : 1×10^{-4} Torr

- Main Chamber :
Pump : Oil Diffusion Pump(8,000 l/m)+RP,
Ultimate Pressure : 1×10^{-6} Torr

Ion Diagnostics:

- Scanning Faraday Cup : 5mm dia., 250 Gauss

Power Supplies:

- Filament P.S. : DC 30V, 70A
- Magnet P.S. : DC 30V, 60A
- Arc P.S. : DC 200V, 25A
- Extraction P.S. : 50kV, 50mA

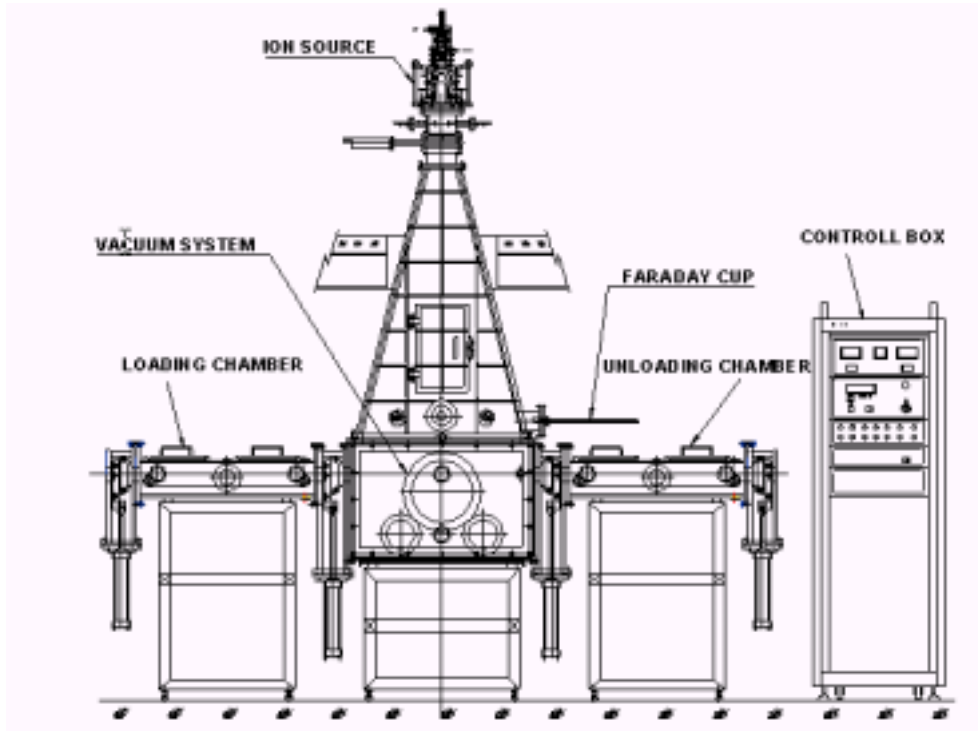


그림. 5. IC Tray 표면처리를 위한 준양산 이온조사장치의 개략도

6. 대면적 빔 특성

산업적 적용을 위해 대면적 표면처리방법은 경제적인 이유로 매우 중요하다. 또한 대전류 이온빔의 분포의 균일성은 양산체제의 연속공정에서 매우 중요하다. 앞선 연구에서 이온빔 조사장치의 빔분포는 가우시안 분포를 가지며(Fig. 2.), 보다 대면적의 이온빔조사를 위하여 이온원 인출전극의 hole system을 multi hole system에서 two hole system으로 교체하였다. 3 grid type의 인출전극의 인출구를 조정하여 IC Tray 타겟에서의 빔 분포를 균일하게 조정하였다. 이러한 인출전극의 변화를 통해 30cm의 균일한 빔 분포를 얻을 수 있었다. (그림. 6)

그림. 7에서 알 수 있는 바와 같이 본 장치를 사용하여 표면저항값 $10^8 \Omega/\square$ 를 나타내는 이러한 질소이온빔을 사용하여 양산에 적용할 경우 $10^8 \Omega/\square$ 의 표면 전기저항을 나타내는 IC Tray를 월 3만장 생산이 가능하다.

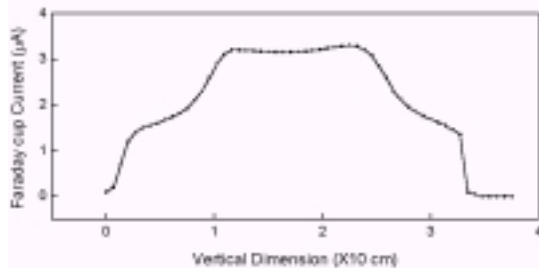


그림. 6. 50keV, 50mA에서 인출된 대면적 질소이온빔 분포

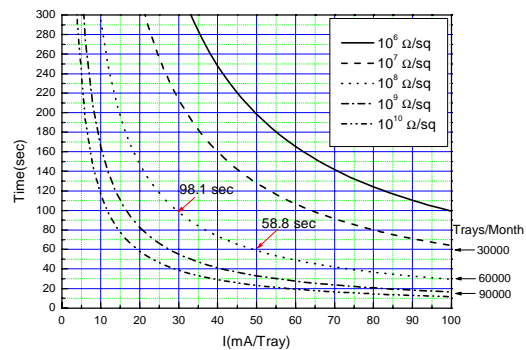


그림. 7. 이온빔 전류에 따른 IC Tray 한 장당 공정시간

7. 결론

이온조사공정의 생산성을 향상시키기 위하여 대전류 이온빔, 대면적 이온원, 균일한 빔 분포가 필요하다. 이러한 결과를 얻기 위해서 그림. 1에서와 같은 가속관과 원소분리전자석이 없는 이온조사장치를 개발하였다. 또한 이 장치는 여러 가지 종류의 이온원을 특성에 따라 실험할 수 있으며, 작은 부품의 양산에 적용되는 표면처리 방법을 개발할 수 있도록 설계제작되었다. 이러한 기술을 바탕으로 월간 3만장의 IC Tray를 표면처리할 수 준양산 이온빔 조사장치를 개발하였다.

참고문헌

- [1] D. Rotman, Industr. Chem. 34(April 1987).
- [2] C.B. Duke, J. Vac. Sci. Technol. A3 (1985) 732.
- [3] P. Mazzoldi, G. W. Arnold, Ion Beam Modification of Insulators, Elsevier (1987).
- [4] H. Ryssel and I. Ruge, Ion Implantation, John Wiley & Sons (1986).
- [5] Z. F. Ziegler, Handbook of Ion Implantation Technology, North-Holland (1992).
- [6] L. Calcagno and G. Foit, Nucl. Instr. and Meth., B59/60 (1991).
- [7] G. Marletta, Nucl. Instr. and Meth., B46 (1990).
- [8] E. H. Lee, Y. Lee, W. C. Oliver, and L. K. Mansur, J. Mater. Tes., 8 (1993).
- [9] J. Davenas, X. L. Xu, G. Boiteux and D. Sage, Nucl. Instr. and Meth., B39 (1989).
- [10] G. Marletta and S. Pignataro, C. Oliveri, Nucl. Instr. and Meth., B39 (1989).
- [11] V. Svorcik, R. Endrst, V. Rybka, V. Hnatowicz, F. Cerny, J. Electrochem, Soc., 141 (1994).
- [12] T. Venkatesan, Nucl. Instr. and Meth., B7/8 (1985).
- [13] I. H. Loh, T. W. Oliver and P. Sioshansi, Nucl. Instr. and Meth., B34 (1988).

[14] J. Davenas, G. Boiteux and X. L. Xu, Nucl. Instr. and Meth., B32 (1988)

[15] J. Davenas, X. L. Xu, G. Boiteux, and D. Sage, Nucl. Instrum. and Meth., B39 (1989) 754